

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-13858  
(P2001-13858A)

(43) 公開日 平成13年1月19日 (2001.1.19)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
G 0 3 H 1/08

識別記号

F I  
C 0 3 H 1/08

データベース\* (参考)  
2 K 0 0 8

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平11-183242

(22) 出願日 平成11年6月29日 (1999. 6. 29)

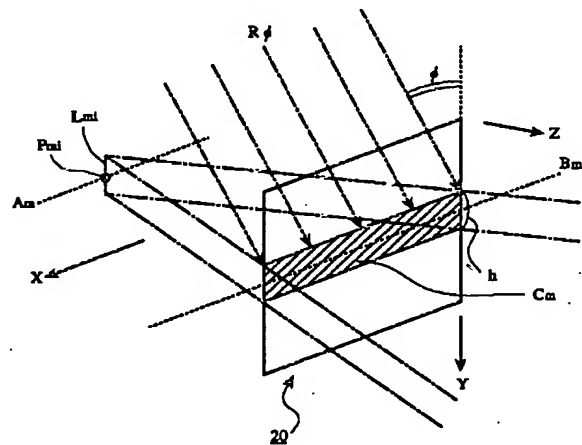
(71) 出願人 000002897  
大日本印刷株式会社  
東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号  
(72) 発明者 北村 満  
東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号  
大日本印刷株式会社内  
(72) 発明者 浜野 智恒  
東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号  
大日本印刷株式会社内  
(74) 代理人 100091476  
弁理士 志村 浩  
Fターム(参考) 2K008 AA08 AA13 FF27

(54) 【発明の名称】 計算機プログラムおよびその作成方法

(57) 【要約】

【課題】 演算負担を軽減しつつ、明るい再生像を得る。

【解決手段】 原画像上に所定ピッチ $h$ で多数の単位線分を定義する。各単位線分 $A_m$ 上に多数の基準点 $P_{mi}$ を定義し、この基準点位置に長さ $h$ をもち記録面20に平行な線光源 $L_{mi}$ を定義する。こうして、原画像を多数の線光源の集合として表現する。記録面20には斜め上方から所定角度 $\phi$ をもって参照光 $R\phi$ を照射し、幅 $h$ をもった単位領域 $C_m$ 内に、単位線分 $A_m$ 上に配列された全線光源と参照光との干渉縞を演算により記録する。用いる光の波長 $\lambda$ および角度 $\phi$ を適当に設定すると、単位領域 $C_m$ 内には、Y軸方向に同一の干渉縞パターンが周期的に繰り返し生じることになるので、1周期分のパターンについてのみ演算を行い、これを必要な分だけ複製する。記録面20上に得られた干渉縞パターンを二値化し、この二値画像を電子線描画装置で媒体上に描画し、エンボスプログラムを作成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 計算機を用いた演算により所定の記録面上に干渉縞を形成してなる計算機プログラムを作成する方法であって、

所定の原画像と、この原画像を記録するための記録面と、この記録面に対して照射する参照光とを定義する段階と、

前記記録面上に多数の演算点を定義し、個々の演算点について、前記原画像から発せられた物体光と、前記参照光とによって形成される干渉波の強度を演算する段階と、

個々の演算点について求められた干渉波の強度に基づいて、媒体上に物理的な干渉縞を作成する段階と、を有し、

前記原画像上に分布する複数の基準点を定義するとともに、各基準点を通る線光源を定義し、この線光源から発せられた物体光と、前記参照光とによって形成される干渉波の強度を演算するようにしたことを特徴とする計算機プログラムの作成方法。

【請求項2】 請求項1に記載の計算機プログラムの作成方法において、

各線光源として、記録面に対して平行となる所定長さ $h$ の線分からなる線光源を定義することを特徴とする計算機プログラムの作成方法。

【請求項3】 請求項1または2に記載の計算機プログラムの作成方法において、

原画像上に複数の単位線分を定義し、各単位線分上それぞれ複数の基準点を定義し、これらの各基準点位置に、それぞれ互いに平行となるように線光源を定義することを特徴とする計算機プログラムの作成方法。

【請求項4】 請求項3に記載の計算機プログラムの作成方法において、

所定ピッチ $h$ において互いに平行となるように複数の切断面を定義し、原画像を前記各切断面で切断した切り口の輪郭線としてそれぞれ単位線分を定義し、これら単位線分上の各基準点について、前記所定ピッチ $h$ と同一の長さ $h$ をもった線光源を前記各切断面に垂直となるように定義することを特徴とする計算機プログラムの作成方法。

【請求項5】 請求項1～4のいずれかに記載の計算機プログラムの作成方法において、

同一の干渉縞パターンが記録面上に周期的に繰り返されるように、参照光の波長および照射角度を設定し、複数 $n$ 組の同一の干渉縞パターンが隣接配置されるようにし、1組の干渉縞パターンを作成するために行った強度演算の結果を利用して、他の $(n-1)$ 組の同一干渉縞パターンの作成を行うことを特徴とする計算機プログラムの作成方法。

【請求項6】 請求項5に記載の計算機プログラムの作成方法において、

多数の画素を用いてホログラムの記録媒体上に物理的な干渉縞を作成するようにし、干渉縞パターンの繰り返し周期 $d$ の整数倍が前記画素の寸法 $L$ の整数倍となるように設定する(ただし、 $d/L \geq 2$ )ことを特徴とする計算機プログラムの作成方法。

【請求項7】 請求項1～6のいずれかに記載の計算機プログラムの作成方法において、

$XYZ$ 三次元座標系上に原画像を定義するとともに、この座標系の $XY$ 平面上に記録面を定義し、各線光源が $Y$ 軸に平行となるように設定し、参照光の向きを、 $YZ$ 平面に対して平行になり、記録面に対して斜めに入射する向きにしたことを特徴とする計算機プログラムの作成方法。

【請求項8】 請求項1～7のいずれかの作成方法によって作成された計算機プログラムの媒体。

【請求項9】 計算機を用いた演算を利用して、所定の媒体上に原画像を干渉縞として記録した計算機プログラムの媒体において、

媒体上に複数の単位領域が定義され、個々の単位領域は、それぞれ原画像上の特定領域に対応しており、各単位領域内には、原画像上の対応する特定領域内に配置された互いに平行な線光源に関する情報が記録されていることを特徴とする計算機プログラムの媒体。

【請求項10】 計算機を用いた演算を利用して、所定の媒体上に原画像を干渉縞として記録した計算機プログラムの媒体において、

媒体上に複数の単位領域が定義され、個々の単位領域内には、それぞれ原画像上の特定領域に関する情報が記録されており、

各単位領域内には、同一の干渉縞パターンが周期的に繰り返して記録されており、かつ、少なくとも同一単位領域内に関しては、繰り返して記録された干渉縞パターンの境界において干渉縞が連続していることを特徴とする計算機プログラムの媒体。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はホログラムの作成方法に関し、特に、計算機を用いた演算により所定の記録面上に干渉縞を形成してなる計算機プログラムを作成する方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、レーザを利用してコヒーレント光を容易に得ることができるようになり、ホログラムの商業的な利用もかなり普及するに至っている。特に、金券やクレジットカードについては、偽造防止の観点から、媒体の一部にホログラムを形成するのが一般化してきている。

【0003】 現在、商業的に利用されているホログラムは、光学的な手法により、原画像を媒体上に干渉縞として記録したものである。すなわち、原画像を構成する物

体を用意し、この物体からの光と参照光とを、レンズなどの光学系を用いて感光剤が塗布された記録面上に導き、この記録面上に干渉縞を形成させるという手法を採っている。この光学的な手法は、鮮明な再生像を得るために、かなり精度の高い光学系を必要とするが、ホログラムを得るための最も直接的な手法であり、産業上では最も広く普及している手法である。

【0004】一方、計算機を用いた演算により記録面上に干渉縞を形成させ、ホログラムを作成する手法も知られており、このような手法で作成されたホログラムは、一般に「計算機合成ホログラム (CGH: Computer Generated Hologram)」、あるいは単に「計算機ホログラム」と呼ばれている。この計算機ホログラムは、いわば光学的な干渉縞の生成プロセスをコンピュータ上でシミュレーションすることにより得られるものであり、干渉縞パターンを生成する過程は、すべてコンピュータ上の演算として行われる。このような演算によって干渉縞パターンの画像データが得られたら、この画像データに基づいて、実際の媒体上に物理的な干渉縞が形成される。具体的には、たとえば、コンピュータによって作成された干渉縞パターンの画像データを電子線描画装置に与え、媒体上で電子線を走査することにより物理的な干渉縞を形成する方法が実用化されている。

【0005】コンピュータグラフィックス技術の発展により、印刷業界では、種々の画像をコンピュータ上で取り扱うことが一般化しつつある。したがって、ホログラムに記録すべき原画像も、コンピュータを利用して得られた画像データとして用意することができれば便利である。このような要求に応えるためにも、計算機ホログラムを作成する技術は重要な技術になってきており、将来は光学的なホログラム作成手法に取って代わる技術になるであろうと期待されている。たとえば、特開平11-24539号公報には、再生像の輝度むら発生を抑制する技術が開示され、特開平11-24540号公報には、筋状ノイズの発生を抑制する技術が開示され、特開平11-24541号公報には、より鮮明な再生像を得る技術が開示されており、再生像の品質を高める試みがなされている。また、特願平10-22604号明細書には、演算負担を軽減させるための技術が開示され、特願平11-15871号明細書には、階調画像を取り扱うための技術が開示され、特願平11-17749号明細書には、カラー画像を取り扱うための技術が開示されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、計算機ホログラムは、今後大きな需要が見込まれる分野であるが、現時点では、商業的な利用を図る上での解決すべき課題をいくつか抱えている。たとえば、干渉縞を演算する際に、コンピュータに多大な演算負担が課せられる点は、解決すべき重要な課題のひとつである。現在のと

ころ、演算処理能力の優れた超高速コンピュータを用いて、長時間にわたる演算を実行させれば、光学的なホログラムと同等の品質をもった計算機ホログラムを作成することは可能であるが、このような作成方法は商業的に利用することはできない。そこで、実用上は、何らかの手法を用いて、コンピュータの演算負担を軽減させる方法を探らざるを得ない。しかしながら、このような手法を採ることにより、再生像が全体的に暗くなってしまうという別な問題が生じることになる。

【0007】そこで本発明は、演算負担を軽減しつつ、明るい再生像を得ることができる計算機ホログラムの作成方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】(1) 本発明の第1の態様は、計算機を用いた演算により所定の記録面上に干渉縞を形成してなる計算機ホログラムを作成する方法において、所定の原画像と、この原画像を記録するための記録面と、この記録面に対して照射する参照光とを定義する段階と、記録面上に多数の演算点を定義し、個々の演算点について、原画像から発せられた物体光と、参照光とによって形成される干渉波の強度を演算する段階と、個々の演算点について求められた干渉波の強度に基づいて、媒体上に物理的な干渉縞を作成する段階と、を行い、原画像上に分布する複数の基準点を定義するとともに、各基準点を通る線光源を定義し、この線光源から発せられた物体光と、参照光とによって形成される干渉波の強度を演算するようにしたものである。

【0009】(2) 本発明の第2の態様は、上述の第1の態様に係る計算機ホログラムの作成方法において、各線光源として、記録面に対して平行となる所定長さ $h$ の線分からなる線光源を定義するようにしたものである。

【0010】(3) 本発明の第3の態様は、上述の第1または第2の態様に係る計算機ホログラムの作成方法において、原画像上に複数の単位線分を定義し、各単位線分上にそれぞれ複数の基準点を定義し、これらの各基準点位置に、それぞれ互いに平行となるように線光源を定義するようにしたものである。

【0011】(4) 本発明の第4の態様は、上述の第3の態様に係る計算機ホログラムの作成方法において、所定ピッチ $h$ において互いに平行となるように複数の切断面を定義し、原画像を各切断面で切断した切り口の輪郭線としてそれぞれ単位線分を定義し、これら単位線分上の各基準点について、所定ピッチ $h$ と同一の長さ $h$ をもった線光源を各切断面に垂直となるように定義するようにしたものである。

【0012】(5) 本発明の第5の態様は、上述の第1～第4の態様に係る計算機ホログラムの作成方法において、同一の干渉縞パターンが記録面上に周期的に繰返し生じるように、参照光の波長および照射角度を設定し、複数 $n$ 組の同一の干渉縞パターンが隣接配置される

ようにし、1組の干渉縞パターンを作成するために行った強度演算の結果を利用して、他の $(n-1)$ 組の同一干渉縞パターンの作成を行うようにしたものである。

【0013】(6) 本発明の第6の態様は、上述の第5の態様に係る計算機プログラムの作成方法において、多数の画素を用いてプログラムの記録媒体上に物理的な干渉縞を作成するようにし、干渉縞パターンの繰り返し周期 $d$ の整数倍が画素の寸法 $L$ の整数倍となるように設定(ただし、 $d/L \geq 2$ )したものである。

【0014】(7) 本発明の第7の態様は、上述の第1～第6の態様に係る計算機プログラムの作成方法において、XYZ三次元座標系上に原画像を定義するとともに、この座標系のXY平面上に記録面を定義し、各線光源がY軸に平行となるように設定し、参照光の向きを、YZ平面に対して平行になり、記録面に対して斜めに入射する向きとなるようにしたものである。

【0015】(8) 本発明の第8の態様は、上述の第1～第7の態様に係る計算機プログラムの作成方法によって、計算機プログラムの媒体を作成するようにしたものである。

【0016】(9) 本発明の第9の態様は、計算機を用いた演算を利用して、所定の媒体上に原画像を干渉縞として記録した計算機プログラムの媒体において、媒体上に複数の単位領域を定義し、個々の単位領域に、それぞれ原画像上の特定領域を対応させ、各単位領域内には、原画像上の対応する特定領域内に配置された互いに平行な線光源に関する情報が記録されるようにしたものである。

【0017】(10) 本発明の第10の態様は、計算機を用いた演算を利用して、所定の媒体上に原画像を干渉縞として記録した計算機プログラムの媒体において、媒体上に複数の単位領域を定義し、個々の単位領域には、それぞれ原画像上の特定領域に関する情報が記録されるようにし、各単位領域内には、同一の干渉縞パターンが周期的に繰り返し記録され、かつ、少なくとも同一単位領域内に関しては、繰り返し記録された干渉縞パターンの境界において干渉縞が連続しているようにしたものである。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図示する実施形態に基づいて説明する。

【0019】§1. 計算機プログラムの基本原理

図1は、一般的なプログラムの作成方法を示す原理図であり、原画像10を記録面20上に干渉縞として記録する方法が示されている。ここでは、説明の便宜上、図示のとおりXYZ三次元座標系を定義し、記録面20がXY平面上に置かれているものとする。光学的な手法を採用する場合、記録対象となる物体が原画像10として用意されることになる。この原画像10上の任意の点Pから発せられた物体光Oは、記録面20の全面に向けて進行す

る。一方、記録面20には、参照光Rが照射されており、物体光Oと参照光Rとの干渉縞が記録面20上に記録されることになる。

【0020】記録面20の位置に計算機プログラムを作成するには、原画像10、記録面20、参照光Rを、コンピュータ上にデータとしてそれぞれ定義し、記録面20上の各位置における干渉波強度を演算すればよい。具体的には、たとえば図2に示すように、原画像10をN個の点光源 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_i, \dots, P_N$ の集合として取り扱い、各点光源からの物体光 $O_1, O_2, O_3, \dots, O_i, \dots, O_N$ が、それぞれ演算点 $Q(x, y)$ へと進行するとともに、参照光Rが演算点 $Q(x, y)$ に向けて照射されたものとし、これらN本の物体光 $O_1 \sim O_N$ と参照光Rとの干渉によって生じる干渉波の演算点 $Q(x, y)$ の位置における振幅強度を求める演算を行えばよい。物体光および参照光は、通常、単色光として演算が行われる。記録面20上には、必要な解像度に応じた多数の演算点を定義するようにし、これら各演算点のそれぞれについて、振幅強度を求める演算を行えば、記録面20上には干渉波の強度分布が得られることになる。

【0021】このような強度分布を示す画像データに基づいて、実際の媒体上に物理的な濃淡パターンやエンボスパターンを形成すれば、原画像10を干渉縞として記録したプログラムが作成できる。媒体上に高解像度の干渉縞を形成する手法としては、電子線描画装置を用いた描画が適している。電子線描画装置は、半導体集積回路のマスクパターンを描画する用途などに広く利用されており、電子線を高精度で走査する機能を有している。そこで、演算によって求めた干渉波の強度分布を示す画像データを電子線描画装置に与えて電子線を走査すれば、この強度分布に応じた干渉縞パターンを描画することができる。ただ、一般的な電子線描画装置は、描画/非描画を制御することにより二値画像を描画する機能しか有していない。そこで、演算によって求めた強度分布を二値化して二値画像を作成し、この二値画像データを電子線描画装置に与えるようにすればよい。

【0022】図3は、このような二値化処理の概念図である。上述した演算により、記録面20上の各演算点 $Q(x, y)$ には、所定の振幅強度値が定義されることになる。そこで、この振幅強度値に対して所定のしきい値(たとえば、記録面20上に分布する全振幅強度値の平均値)を設定し、このしきい値以上の強度値をもつ演算点には画素値「1」を与え、このしきい値未満の強度値をもつ演算点には画素値「0」を与えるようにし、各演算点 $Q(x, y)$ を、「1」もしくは「0」の画素値をもつ画素 $D(x, y)$ に変換すれば、多数の画素 $D(x, y)$ の集合からなる二値画像が得られる。この二値画像のデータを電子線描画装置に与えて描画を行えば、物理的な二値画像として干渉縞を描画することがで

きる。実際には、この物理的に描画された干渉縞に基づいて、たとえばエンボス版を作成し、このエンボス版を用いたエンボス加工を行うことにより、表面に干渉縞が凹凸構造として形成されたホログラムを量産することができる。

【0023】§2. 演算負担を軽減させるために従来提案されている方法

計算機ホログラムを作成する基本原理は、上述したとおりである。ただ、高い品質をもった再生像を得るためには、記録面20に記録される干渉縞の解像度を高めるとともに、原画像10自体の解像度を高める必要がある。別言すれば、記録面20上に定義する演算点Qの数を増やすとともに、原画像10を構成する点光源Pの数を増やす必要があり、コンピュータの演算負担は両者の積に応じて増大することになる。このため、現在の一般的なコンピュータの処理能力を考慮すると、このような手法によって作成された計算機ホログラムを商業的に利用するのは困難である。

【0024】そこで、たとえば、特願平10-22604号明細書などには、演算負担を軽減させるための実用的な手法が開示されている。ここでは、この手法を簡単に説明しておく。

【0025】いま、図4(a)に示すように、原画像10上に所定ピッチ $h$ において互いに平行となるように複数 $M$ 本の単位線分 $A_1, \dots, A_{m-1}, A_m, A_{m+1}, \dots, A_M$ を定義する。実際には、所定ピッチ $h$ において互いに平行となるように複数の切断面を定義し、原画像を各切断面で切断した切り口の輪郭線としてそれぞれの単位線分を定義すればよい。なお、任意形状の立体などを像として記録する場合、原画像10が任意曲面になるため、この任意曲面上に定義された単位線分は、「曲線分」を形成することになる。したがって、本明細書における「単位線分」という文言は、「直線分」だけでなく「曲線分」も含めた意味で用いることにする。こうして、 $M$ 本の単位線分が定義されたら、続いて、各単位線分上にそれぞれ複数の基準点を定義する。たとえば、図4(a)には、第 $m$ 番目の単位線分 $A_m$ 上に $N$ 個の基準点 $P_{m1}, \dots, P_{mi}, \dots, P_{mN}$ を定義した例が示されている。各基準点は、たとえば、単位線分上に所定ピッチで配置すればよい。

【0026】一方、図4(b)に示すように、記録面20上には、 $M$ 本の投影線分 $B_1, \dots, B_{m-1}, B_m, B_{m+1}, \dots, B_M$ （図では破線で示す）を定義する。これら各投影線分は、それぞれ原画像10上に定義された単位線分 $A_1, \dots, A_{m-1}, A_m, A_{m+1}, \dots, A_M$ を、記録面20上に投影したときに得られる投影像であり、前述の切断面で記録面20を切断したときの切り口に相当する。そして、各投影線分を、当該投影線分に直交する方向に $+h/2$ および $-h/2$ を切断したときの切り口により（図4(b)では、上下にそれぞれ $h/2$ の

幅だけ移動させることにより）、幅 $h$ をもった帯状の単位領域 $C_1, \dots, C_{m-1}, C_m, C_{m+1}, \dots, C_M$ を形成する。図4(b)では、第 $m$ 番目の投影線分 $B_m$ を上下に移動させることにより形成された第 $m$ 番目の単位領域 $C_m$ が、ハッチング表示されている。結局、原画像10上の $M$ 本の単位線分 $A_1, \dots, A_{m-1}, A_m, A_{m+1}, \dots, A_M$ と、記録面20上の $M$ 個の単位領域 $C_1, \dots, C_{m-1}, C_m, C_{m+1}, \dots, C_M$ とが1対1に対応することになる。

【0027】原画像10の情報を記録面20に記録するには、既に述べたように、記録面20上に定義された多数の演算点Qの位置について、原画像10上に定義された多数の点光源Pからの物体光と、参照光Rとの干渉波の強度を演算することになる。そこで、各単位線分 $A_1, \dots, A_{m-1}, A_m, A_{m+1}, \dots, A_M$ 上の各基準点の位置にそれぞれ点光源を定義し、これらの点光源からの物体光と参照光Rとの干渉波の強度演算を行うことになるが、このとき、第 $m$ 番目の単位領域 $C_m$ 内の演算点Qについては、対応する第 $m$ 番目の単位線分 $A_m$ 上の $N$ 個の基準点 $P_{m1}, \dots, P_{mi}, \dots, P_{mN}$ 上の点光源からの物体光のみを考慮した演算を行うようにする。すなわち、図4(b)においてハッチングが施された領域内の演算点については、単位線分 $A_m$ 上の $N$ 個の基準点 $P_{m1}, \dots, P_{mi}, \dots, P_{mN}$ 上の点光源についての情報のみが記録されることになる。

【0028】図5は、上述の基本原理を説明するために、記録に必要な系を記録面20の背面側からみた状態を示す図である。ここでは、XYZ三次元座標系が定義されており、記録面20は、XY平面上に置かれている。また、説明の便宜上、原画像10については、第 $m$ 番目の単位線分 $A_m$ のみが示されており、記録面20上には、第 $m$ 番目の投影線分 $B_m$ を中心として幅 $h$ をもつ第 $m$ 番目の単位領域 $C_m$ （ハッチングを施した細長い矩形領域）のみが示されている。単位線分 $A_m$ 上には、多数の基準点が定義されており、これらの基準点位置に定義された点光源からの物体光と所定の参照光との干渉縞が、記録面20上に定義された単位領域 $C_m$ 上の各演算点に記録されることになる。このような干渉縞を記録する演算は、個々の点光源に着目すれば、ある基準点 $P_{mi}$ 上の点光源から発せられた物体光（図では一点鎖線で示す）のY軸方向に関する広がり角を、図5に示す所定角 $\theta$ に制限した演算とすることができる。この例では、物体光のX軸方向に関する広がり角は制限されていないため、単位線分 $A_m$ 上のすべての基準点 $P_{m1}, P_{m2}, P_{m3}, \dots, P_{mi}, \dots, P_{mN}$ から発せられた物体光は、横幅が記録面20の横幅に等しく、縦幅が角度 $\theta$ に応じて定まる寸法 $h$ となる矩形の単位領域 $C_m$ に照射されることになる。

【0029】一方、参照光R $\phi$ は、図のようにXYZ三次元座標系を定義した場合に、YZ平面に平行な平面に

沿って進む平面波であり、記録面20に対して入射角 $\phi$ をもって斜め上方から照射される光である。もちろん、参照光 $R\phi$ の照射方向は、理論的にはどのような方向から入射させてもよいが、実用上は、図示の例のように、YZ平面に平行になり、記録面20に対して斜め上方から入射するようにするのが好ましい。これは、記録媒体20に記録されたホログラムを、クレジットカード用の偽造防止用マークなどとして利用する場合、斜め上方からの再生用照明光を用いて観察する場合が多いからである。このような参照光 $R\phi$ を用いて作成されたホログラムは、天井照明からの光など、斜め上方から照射される再生光の下で最適な再生像を提示できる。

【0030】本来のホログラム像を記録するのであれば、個々の演算点ごとに、図4(a)に示す原画像10上のすべての点光源からの物体光を考慮した演算を行う必要があるが、上述した手法によれば、1本の単位線分上に位置する点光源からの物体光のみを考慮した演算で済むため、演算負担は大幅に軽減される。

【0031】なお、記録面20上に定義される各単位領域のY軸方向の幅 $h$ （縦方向の幅）は、視覚的に認識不可能な寸法（肉眼の解像度よりも更に高い解像度を実現できる寸法）に設定するのが好ましい。これは、幅 $h$ を視覚的に認識可能な寸法に設定した場合、記録面20を全体的に観察した際に、各単位領域の境界線が肉眼で認識されてしまい、全体的に横縞模様が観察されるおそれがあるからである。たとえば、 $h=1\text{mm}$ 程度（視覚的に十分認識可能な寸法）に設定した場合、再生像に幅 $1\text{mm}$ の横縞が重なって観察されることになる。具体的には、 $h<100\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $h<50\mu\text{m}$ 以下に設定すると、ほとんどの場合、横縞模様は認識されなくなる。これに対して、単位領域のX軸方向の幅は、記録面20の横幅に等しくなるため、当然、視覚的に認識可能な寸法になる。

【0032】§3. 本発明に係る計算機ホログラムの作成方法

本発明に係る計算機ホログラムの作成方法は、上述した§1および§2で述べた手法を更に改良した方法であり、その基本概念は、点光源の代わりに線光源を用いた演算を行う点にある。たとえば、図5に示す方法では、基準点 $P_{mi}$ 上に点光源を定義し、この点光源からの物体光と参照光 $R\phi$ との干渉縞を記録している。一般に、点光源からの光は、波面が球状となるように広がってゆく光であり、基準点 $P_{mi}$ 上に位置する点光源から進む物体光をXZ平面またはYZ平面上に投影した場合、図6に一点鎖線で示すような投影像が得られることになる。したがって、本来であれば、点光源からの物体光は、記録面20の全面に到達することになるが、§2で述べた手法では、図5に示すように、物体光のY軸方向に関する広がり角を、所定角 $\theta$ に制限した演算を行うため、基準点 $P_{mi}$ 上の点光源からの物体光は、単位領域

Cm内にのみ到達することになる。

【0033】これに対し、本発明では、原画像10上に多数の線光源を定義することになる。たとえば、図7に示すように、基準点 $P_{mi}$ 上に線光源 $L_{mi}$ を定義し、この線光源 $L_{mi}$ からの物体光と参照光 $R\phi$ との干渉縞を記録面20上に記録する場合を考えてみる。ここで、線光源 $L_{mi}$ は、記録面20に対して平行で、長さ $h$ の線分から構成されているものとする。より具体的には、図7に示す例では、Y軸に平行になるように線光源 $L_{mi}$ を定義しており、この線光源 $L_{mi}$ の中心が基準点 $P_{mi}$ の位置にくるようにしてある。ここでは、単位線分 $A_m$ 、 $B_m$ がX軸に平行になり、記録面20がXY平面上にくるようにXYZ三次元座標系を定義してあるため、線光源 $L_{mi}$ はY軸に平行になる。線光源 $L_{mi}$ は、一様な強度をもった線状の光放射要素であり、その強度値は、たとえば、原画像10上の基準点 $P_{mi}$ が有する画素値に基づいて決定すればよい。一般に、線光源からの光は、波面が円筒状となるように広がってゆく光であり、基準点 $P_{mi}$ 上の線光源 $L_{mi}$ から進む物体光をXZ平面上に投影すると、図6に一点鎖線で示すような投影像が得られることになるが、これをYZ平面上に投影すると、図8に一点鎖線で示すような投影像が得られることになる。

【0034】別言すれば、図7に示す系を上方向から観察すると、線光源 $L_{mi}$ からの物体光は図6に示すように放射状に広がってゆくことになるが、この系を横方向から観察すると、線光源 $L_{mi}$ からの物体光は、図8に示すように、いずれも水平方向に進む光となる。結局、線光源 $L_{mi}$ からの物体光は、その広がり角に何ら制限を加えなくても、Y軸方向について幅 $h$ をもった単位領域Cm内にのみ到達することになる。こうして、単位領域Cm内の各演算点について、線光源 $L_{mi}$ からの物体光と参照光 $R\phi$ との干渉波の強度が演算されることになり、単位領域Cm内に干渉縞が記録されることになる。

【0035】図7では、図示の便宜上、単位線分 $A_m$ 上の第 $i$ 番目の基準点 $P_{mi}$ 上に定義された線光源 $L_{mi}$ からの物体光と参照光 $R\phi$ との干渉縞が単位領域Cm内に記録される様子のみが示されているが、実際には、単位線分 $A_m$ 上には $N$ 個の基準点 $P_{m1} \sim P_{mN}$ が定義されており、各基準点の位置にそれぞれ線光源 $L_{m1} \sim L_{mN}$ が定義される（いずれの線光源も長さ $h$ を有し、その中心が単位線分 $A_m$ 上にくるように、Y軸に平行な向きに配置されている）。したがって、単位領域Cm内には、 $N$ 個の線光源 $L_{m1} \sim L_{mN}$ からの各物体光と参照光 $R\phi$ との干渉縞が重なって記録されることになる。

【0036】また、図4(a)に示すように、原画像10上には、所定ピッチ $h$ をおいて互いに平行になるように、 $M$ 本の単位線分 $A_1 \sim A_M$ が定義されており（いずれもXZ平面に平行な線分もしくは曲線分となる）、これらすべての単位線分上にそれぞれ複数の基準点が定義

され、各基準点について、それぞれ各単位線分に垂直となる(Y軸に平行となる)線光源が定義されている。したがって、図4(b)に示すM個のすべての単位領域C1~CMについて、それぞれ対応する単位線分A1~AM上の複数の基準点に定義された線光源からの物体光と参照光との干渉縞が記録されることになる。

【0037】§4. 線光源を用いるメリット

このように、§1および§2で述べた従来の方法と、§3で述べた本発明に係る方法との根本的な相違点は、前者では各基準点上に配置された点光源についての情報を記録するのに対し、後者では各基準点上に配置された線光源についての情報を記録するという点にある。本願発明者は、点光源の代わりに線光源を用いることにより、2つのメリットが得られることを見出した。第1のメリットは、より明るい再生像を得ることができるというメリットであり、第2のメリットは、干渉縞を得るための演算負担を軽減させることができるというメリットである。以下、これら2つのメリットについて順に説明する。

【0038】第1のメリットである明るい再生像が得られる理由は、次のように考えることができる。いま、図9に示す点光源モデルと図10に示す線光源モデルとを考えてみる。図9に示す点光源モデルは、§2で説明した従来の点光源を用いて原画像を記録した計算機プログラム(図5の手法)を再生する場合のモデルであり、図10に示す線光源モデルは、§3で説明した本発明に係る線光源を用いて原画像を記録した計算機プログラム(図7の手法)を再生する場合のモデルである。いずれのモデルも、横方向から見た側面図を示しており、記録面20の左側に原画像をおき、同じく左側から参照光R $\phi$ (一点鎖線で示す)を照射して干渉縞を記録し、この干渉縞を記録面20の右側の視点Eから観察したときの再生状態を示している。再生時には、参照光R $\phi$ と同じ方向から再生用照明光を照射することになる(実際には、再生用照明光は、記録面20の右側から照射されることが多いが、この場合の再生用照明光は記録面20を鏡面とした場合に参照光R $\phi$ と鏡像関係となる方向から照射される)。

【0039】さて、ここで記録面20の幅hの部分の領域(単位領域Cm)に記録されている干渉縞に基づいて再生される原画像の一部分を考えてみると、図9に示す点光源モデルの場合は基準点Pmi上の点光源が再生されるのに対し、図10に示す線光源モデルの場合は線光源Lmiが再生されることになる。前者の場合、物体光O(実線で示す)は、基準点Pmiから広がってゆく。視点Eに向かう再生光(破線で示す)は、この物体光の延長線上にあるので、図9に示すように、再生光は上下に広がる光となる。ところが、後者の場合、物体光O(実線で示す)は、線光源Lmiから平行のまま進むことになる。やはり視点Eに向かう再生光(破線で示す)

は、この物体光の延長線上にあるので、図10に示すように、再生光は平行のまま進む光となる。結局、図9に示す点光源モデルでは、再生光が上下に分散してしまう傾向にあるのに対し、図10に示す線光源モデルでは、そのような再生光の分散は生じないことになる。このような理由から、図示のように、再生光の進行方向に視点Eを置いてみる限りにおいては、前者よりも後者の方が視点Eに集まる再生光の光量は多くなり、明るく見えることになる。

【0040】もっとも、視点Eの位置を変えると、メリットはデメリットに転じてしまう。たとえば、視点Eの位置を図示の位置よりも上に移動させ、斜め上方から見下ろすようにして光源の像を観察したとすると、後者では、再生光が全く視点Eに届かなくなり再生像は全く見えなくなるのに対し、前者では一部の再生光が視点Eに届くことになり、再生像はいくらか見えることになる。別言すれば、図9に示す点光源モデルでは、上下方向に関する像の観察範囲が広く設定されているのに対し、図10に示す線光源モデルでは、上下方向に関する像の観察範囲が狭く設定されていることになる。

【0041】ただ、クレジットカードの偽造防止用マークなどへの利用を考慮すると、通常は、記録面20の垂直上方に視点Eを置いて観察する頻度が高いと考えられるので、たとえ観察範囲が狭くなったとしても、垂直上方に視点Eを置いて観察したときに最も明るい再生像が得られる図10に示す線光源モデルの方がより好ましいと言えることができる。これが本発明の第1のメリットである。

【0042】第2のメリットである「干渉縞を得るための演算負担を軽減させることができる」という理由は次のとおりである。まず、図11と図12とを比較してみたい。図11は、図9に示す点光源モデルにおける1つの単位領域内に記録される干渉縞のパターンの模式図であり、図12は、図10に示す線光源モデルにおける1つの単位領域内に記録される干渉縞のパターンの模式図である(いずれも、干渉縞パターンを模式的に示したものであり、実際の干渉縞を示すものではない)。両者を比べると、図12に示すパターンでは、全体を縦方向に4分割することができ、このような分割を行った場合、各分割領域内には、全く同一の干渉縞パターンが形成されていることがわかる。すなわち、縦幅dからなる4つの分割領域内の干渉縞パターンは、いずれも全く同一のパターンとなっている。図11に示すパターンを縦方向に4分割して分割領域を形成したとしても、各分割領域内のパターンは同一にはならない。

【0043】図12に示すように、同一の干渉縞パターンが記録面上で周期dをもって繰り返し隣接配置されることが予めわかっているならば、干渉縞を得るための演算負担を軽減させることが可能である。すなわち、複数n組の同一の干渉縞パターンが隣接配置されることが予めわ

かっていれば、1組の干渉縞パターンを作成するために行った強度演算の結果を利用して、他の $(n-1)$ 組の同一干渉縞パターンの作成を行うことができるので、演算回数を $1/n$ にまで減らすことが可能になる。たとえば、図12に示す例では、複数4組の同一の干渉縞パターンが周期 $d$ をもって隣接配置されることが予めわかっているため、この単位領域については、全幅 $h$ のすべての領域について干渉縞演算を行う必要はなく、たとえば、幅 $d$ からなる1組の分割領域(全体の $1/4$ の領域)について干渉縞演算を行い、残りの3組の分割領域については、第1組目の演算によって求めた干渉縞パターンを複製して配置するようにすれば足りる。このように同一干渉縞パターンを複製して利用することができれば、演算負担を軽減するというメリットとともに、パターン描画に必要な総データ量を軽減できるという付随的なメリットも得られるようになる。このメリットにより、電子線描画装置などを用いて干渉縞パターンを描画する際には、データの受け渡し効率が著しく改善される。

【0044】このように、線光源を用いた場合に、同一の干渉縞パターンの繰り返しが生じる理由を、図10のモデルを用いて簡単に説明してみよう。まず、線光源 $L_{mi}$ からは、いずれの部分からも、図の右方向に物体光 $O$ が照射される。ここで、線光源 $L_{mi}$ は、長さ方向に均一な強度をもった光源であり、しかも記録面20に対して平行であるから、記録面20上で長さ $h$ をもった単位領域内のどの位置についても、物体光 $O$ は同一の条件で照射されていることになり、その振幅強度および位相は全く同一になる。このように、物体光 $O$ が全く同一条件で照射されているにもかかわらず、この単位領域に干渉縞パターンが形成されるのは、参照光 $R$ の位相が各部分で異なるためである。

【0045】いま、参照光 $R$ を構成する光束として、図示のように、5本の光束 $R_1 \sim R_5$ を考える。もともと参照光 $R$ は、空間的にコヒーレントな光であるから、この5本の光束の位相はすべて揃っている。しかしながら、記録面20に対しては、斜めの角度 $\phi$ で入射するため、記録面20に到達するまでの光路長はそれぞれで異なり、到達点 $F_1 \sim F_5$ におけるそれぞれの位相は互いに異なることになる。たとえば、光束 $R_1$ の光路長よりも光束 $R_2$ の光路長は所定長だけ長くなり、光束 $R_2$ の光路長よりも光束 $R_3$ の光路長は所定長だけ長くなる。ここでは、この光路長の差がちょうど1波長分であったとすると、点 $F_1$ 、 $F_2$ では、参照光 $R$ の位相が $2\pi$ だけ異なっていることになり、到達点 $F_2$ 、 $F_3$ でも、参照光 $R$ の位相が $2\pi$ だけ異なっていることになる。結局、5つの到達点 $F_1 \sim F_5$ の間では、いずれも参照光 $R$ の位相が $2\pi$ ずつずれていることになる。このような理由から、記録面20上には、周期 $d$ をもった同一の干渉縞パターンが4回繰り返し現れることになる。

り、図12に示すような干渉縞パターンが得られることになる。

【0046】これに対して、点光源を用いた場合は、図9に示すように、記録面20上における参照光 $R$ の位相は周期 $d$ で繰り返されるが、物体光 $O$ の位相が各位置ごとに異なるため、幅 $h$ を有する単位区間内全体としては、繰り返しパターンが得られることはない。

【0047】線光源を用いた場合に得られる干渉縞パターンの繰り返しの周期 $d$ は、図13に示す式によって予め求めることができる。すなわち、図13上段に示すように、物体光 $O$ と参照光 $R$ の照射角度を考え、記録面20上に立てた法線方向を角度の基準として、物体光 $O$ の進行角度を $\theta_o$ とし、参照光 $R$ の進行角度を $\theta_r$ とし、用いる光(物体光および参照光)の波長を $\lambda$ とすれば、記録面20上に現れる干渉縞パターンの繰り返し周期 $d$ は、図13の下段に示すように、

$$d = \lambda / |\sin \theta_r - \sin \theta_o|$$

によって求まることになる。なお、物体光 $O$ は視点 $E$ に向けて図の右方向へと進むので、常に $\theta_o = 0$ になる。また、前述の例では、 $\theta_r = \phi$ である。もちろん、繰り返し周期 $d$ が、線光源の長さ $h$ よりも長くなってしまうと、もはや繰り返しパターンは得られなくなる。したがって、演算負担を軽減するために繰り返しパターンを得るためには、 $d < h$ となるように、用いる光の波長 $\lambda$ および参照光の照射角度 $\theta_r$ を適当な値に設定する必要がある。より好ましくは、 $h$ が $d$ の整数倍となるようにすれば、記録面20上で同一の干渉縞パターンを整数回だけ複製する処理を行えばよいので、演算負担は更に軽減される( $h$ が $d$ の整数倍でない場合、たとえば、 $h$ が $d$ の3.7倍となっていたような場合、同一の干渉縞パターンを2回だけ複製した後、このパターンの幅の $7/10$ の部分だけを複製する処理が必要になり、処理がやや煩雑になる)。

【0048】なお、繰り返し周期 $d$ を設定するにあたっては、もうひとつ留意すべき点がある。それは、干渉縞を物理的媒体に記録する際の画素の寸法を考慮するという点である。既に述べたように、演算で得られた干渉縞パターンを物理的媒体に実際に記録する場合、電子線描画装置などが用いられている。このような描画装置では、干渉縞パターンが矩形の画素の集合として描画されることになるので、干渉縞パターンの周期 $d$ は、この画素の寸法の整数倍となるように設定した方が都合がよい。たとえば、 $\lambda = 633 \text{ nm}$ 、 $\theta_r = 45^\circ$ 、 $\theta_o = 0^\circ$ に設定すると、上述の式により、 $d = 895.19 \dots \text{ nm}$ といった半端な数値になってしまう。このような半端な寸法値が出てしまうと、一般的な電子線描画装置で描画を行う場合に支障が生じる。

【0049】たとえば、用いる電子線描画装置のサンプリング間隔が $200 \text{ nm}$ であったとすると、この描画装置を用いて作成される干渉縞パターンは、寸法 $200 \text{ nm}$

mの画素の集合として描画されることになる。したがって、周期dが、この200nmの整数倍となっていると、描画を行う上では非常に都合がよい。一例として、周期dをこのサンプリング間隔200nmの4倍に設定するのであれば、 $d=800\text{nm}$ に設定すればよい。このように周期dを先に決め、上述の式を適用すれば、たとえば、 $\lambda=565.685\text{nm}$ 、 $\theta_r=45^\circ$ 、 $\theta_o=0^\circ$ という値が設定できる。ここで波長 $\lambda$ は、半端な値となっており、実際には、このような波長をもった光源は存在しないかもしれないが、計算機ホログラムの場合、波長 $\lambda$ は演算に用いる単なる数値としての意味しかもたないので、何ら問題は生じない。

【0050】図14は、このような条件で実際に描画された干渉縞パターンを示す図である。電子出願の制約上、図の細かな部分は鮮明に表現することができないが、周期dをもって同一の干渉縞パターンが繰り返されている様子がある程度は認識できる。図15は、周期dに相当する1回分の干渉縞パターンのみを抽出して示す図である。ここでは、 $d=800\text{nm}$ 、 $h=8\mu\text{m}$ となっており、サンプリング間隔は200nmである。したがって、図15に示す1周期分の干渉縞パターンは縦方向に並んだ4画素分から構成されており、図14に示す1単位領域分の干渉縞パターンは、図15に示す周期パターンを縦方向に10回分並べたものとなる。もちろん、干渉縞パターンを求める演算は、図15に示す1周期分のパターンについてのみ行えば足り、残りの9周期分については、これを複製する処理を行えばよい。

【0051】なお、周期dは、必ずしも描画装置の画素寸法の整数倍にする必要はなく、周期dの2倍が画素寸法の整数倍となるような設定でもかまわない。たとえば、上述の例では、画素寸法200nmに対して、周期 $d=800\text{nm}$ に設定しているが、周期 $d=700\text{nm}$ に設定することも可能である。 $d=700\text{nm}$ にすると、周期d自体は画素寸法の整数倍にはなっていないが、周期dの2倍である1400nmが画素寸法200nmの整数倍となっているため、この干渉縞パターンを、周期2dのパターンとして取り扱えば、描画を行う上では問題は生じないことになる。結局、周期dの整数倍が画素寸法の整数倍となるような設定を行えばよいことになる。ただし、サンプリング定理により、周期dが画素寸法 $L$ の2倍以上になるように設定しないと干渉縞を記録することはできない。

【0052】§4. 本発明に係る計算機ホログラム媒体の構成

以上述べたように、本発明に係る計算機ホログラムによれば、明るい再生像を得ることができるという第1のメリットと、作成時の演算負担を軽減させるという第2のメリットとが得られる。ここでは、このようなメリットを生むことができる計算機ホログラム媒体自体の構成を述べておこう。

【0053】まず、この計算機ホログラム媒体には、複数の単位領域が定義されており、個々の単位領域は、それぞれ原画像上の特定領域に対応していることになる。たとえば、図4(b)に示すような記録面20をもった媒体の場合、合計M個の単位領域C1～CMが定義されており、各単位領域は、それぞれ原画像10上の特定領域、すなわち、単位線分A1～AMに相当する領域に対応している。そして、各単位領域内には、原画像上の対応する特定領域に、媒体と平行となるように配置された線光源に関する情報が記録されている。たとえば、図4(b)に示す第m番目の単位領域Cm内には、原画像10上の対応する単位線分Am上の基準点Pm1～PmNに配置された線光源(記録面20に平行)に関する情報が記録されていることになる。このように、線光源の情報が記録されていると、図10のモデルで説明したように、再生光が分散することなく、視点Eの位置に集まるという効果が得られるため、全体的に明るい再生像が得られることになる。

【0054】また、作成時の演算負担の軽減というメリットに着目すると、この計算機ホログラムの各単位領域内には、図12に示すように、周期dをもった同一の干渉縞パターンが周期的に繰り返し記録されていることになる。しかも、単に繰り返し記録されているだけではなく、この単位領域内に関する限りは、繰り返し記録された干渉縞パターンの境界において干渉縞が連続している。すなわち、図12に示す干渉縞パターンは、幅hにわたって連続的なパターンとなっており、繰り返し周期dごとの境界部分においても連続的なパターンとなっている。これは、演算負担を軽減するための処理を行っているにもかかわらず、その結果として、原画像の情報量の低減が生じないことを意味する。別言すれば、図12において、全幅h内の全演算点について実際に演算を行って干渉縞パターンを形成した場合でも、全幅hのうちの周期dに相当する1/4の領域内の演算点についてのみ実際に演算を行った干渉縞パターンを形成し、これを複写することにより全幅hについての干渉縞パターンを得たとしても、全く同一の結果が得られるのである。

【0055】前掲の公報などには、計算機ホログラム作成時の演算負担を軽減するための種々の方法が開示されている。しかしながら、従来開示されている方法では、演算負担軽減策によって原画像の情報量が低減されてしまうため、再生像の品質が低下するという問題が生じざるを得ない。本発明に係る方法によれば、演算負担の軽減策を採っても採らなくても、全く同一の再生像品質が得られる。

【0056】以上、本発明を図示する実施形態に基づいて説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されるものではなく、この他にも種々の形態で実施可能である。たとえば、本発明で用いる原画像は、平面的な像であってもよいし、立体的な像であってもよい。もちろ

ん、階調画像やカラー画像を記録する方法（前掲各公報に記載されている方法）にも本発明は適用することが可能である。また、上述の実施形態では、各線光源が記録面に対して平行になるように設定しているが、明るい再生像を得るというメリットを得る目的であれば、各線光源は必ずしも記録面に平行にする必要はない。ただ、各線光源は互いに平行になるようにした方が好ましい。また、実用上は、記録面に対して垂直上方から観察したときに最も明るい再生像が得られるようにするのが好ましく、この観点からは、各線光源を記録面に対して平行に設定するのが好ましい。更に、本発明は前掲の特願平11-15871号明細書に開示された方法にも適用可能であり、この場合は原画像を階調をもった画像として記録再生することができるようになる。

【0057】

【発明の効果】以上のとおり本発明に係る計算機プログラムの作成方法によれば、作成時の演算負担を軽減しつつ、明るい再生像を得ることができるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】一般的なホログラムの作成方法を示す原理図であり、原画像10を記録面20上に干渉縞として記録する方法が示されている。

【図2】図1に示す原理に基づいて、記録面上の任意の点 $Q(x, y)$ における干渉波の強度を演算する方法を示す図である。

【図3】演算によって得られた強度分布画像を二値化し、二値画像を得る過程を示す概念図である。

【図4】本発明に係る計算機プログラムの作成方法の一実施形態において、原画像10上に定義された単位線分と、記録面20上に定義された単位領域とを示す図である。

【図5】原画像上の点光源からの物体光を記録面20に記録する従来の方法を示す斜視図である。

【図6】点光源から照射される物体光の進行方向を示す図である。

【図7】原画像上の線光源からの物体光を記録面20に記録する本発明の方法を示す斜視図である。

【図8】線光源から照射される物体光の進行方向を示す図である。

【図9】点光源からの物体光と参照光との干渉縞を記録

した際の再生光の進行方向を示す側面図である。

【図10】線光源からの物体光と参照光との干渉縞を記録した際の再生光の進行方向を示す側面図である。

【図11】点光源からの物体光と参照光とによって生じる干渉縞パターンの一例を示す平面図である。

【図12】線光源からの物体光と参照光とによって生じる干渉縞パターンの一例を示す平面図である。

【図13】線光源からの物体光と参照光とによって生じる干渉縞パターンが周期パターンとなることを示す原理図である。

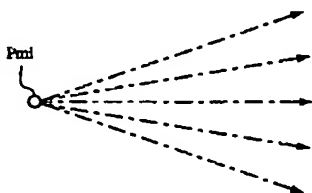
【図14】本発明に係る方法で記録された1単位領域分の干渉縞パターンの一例を示す平面図である。

【図15】図14に示す干渉縞パターンの1周期分のみを示す平面図である。

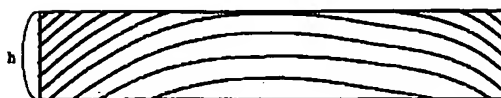
【符号の説明】

10…原画像  
20…記録面  
A1, Am-1, Am, Am+1, AM…原画像上の単位線分  
B1, Bm-1, Bm, Bm+1, BM…記録面上の投影線分  
C1, Cm-1, Cm, Cm+1, CM…単位領域  
D(x, y)…二値画像を構成する画素  
d…干渉縞パターンの繰返し周期  
E…視点  
F1~F5…参照光の到達点  
h…単位領域の縦幅/単位線分のピッチ  
Lmi…線光源  
O, O1, Oi, ON…物体光  
P, P1, Pi, PN, Pm1, Pmi, PmN…点光源/基準点  
Q(x, y)…演算点  
R, Rφ…参照光(再生光)  
R1~R5…参照光の光束  
 $\theta_o$ …物体光の照射角度  
 $\theta_r$ …参照光の照射角度  
 $\phi$ …参照光の入射角  
 $\xi$ …物体光のY軸方向に関する広がり角  
 $\lambda$ …物体光および参照光の波長

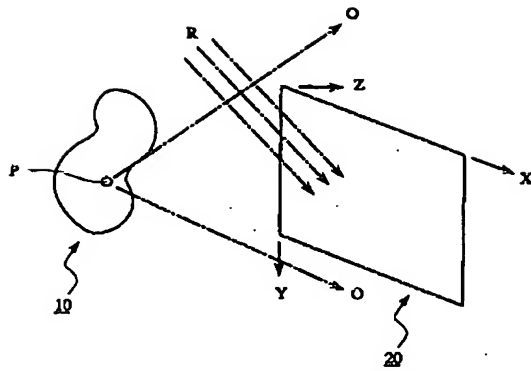
【図6】



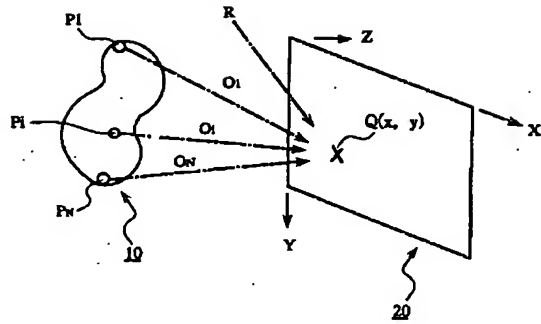
【図11】



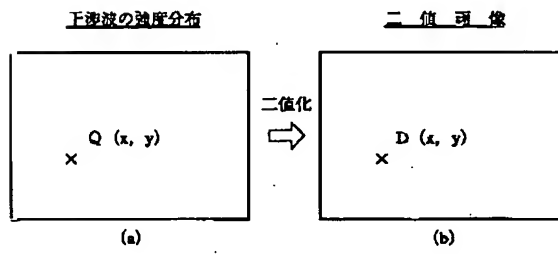
【図1】



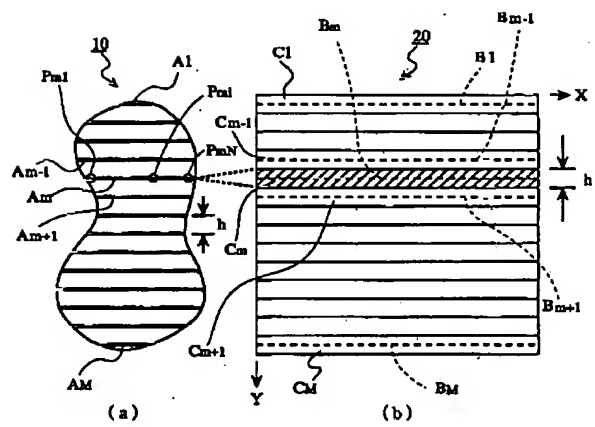
【図2】



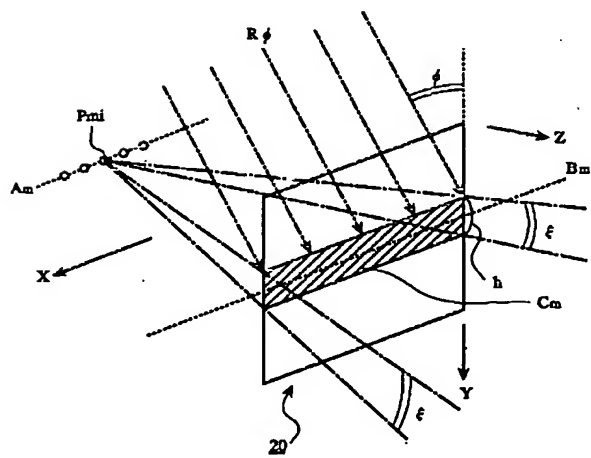
【図3】



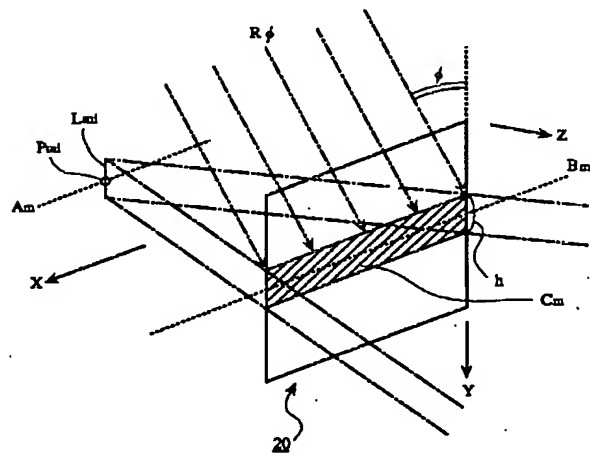
【図4】



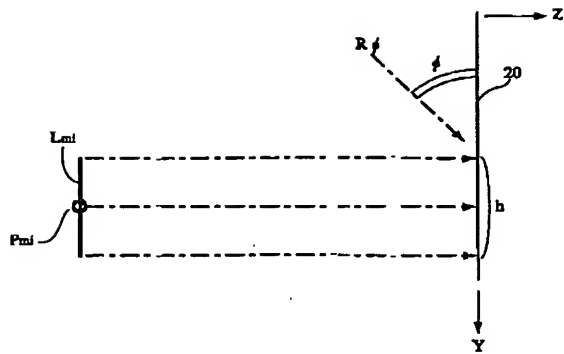
【図5】



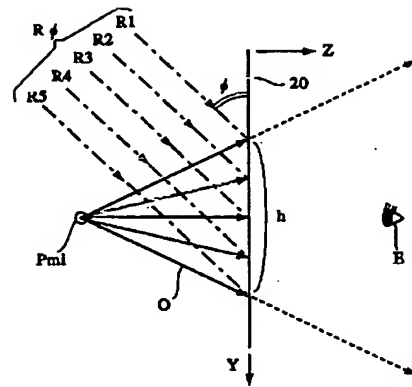
【図7】



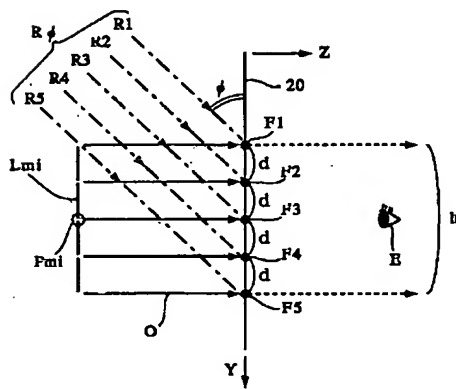
【図8】



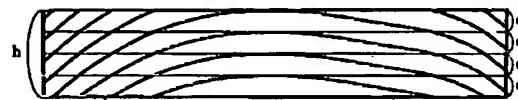
【図9】



【図10】



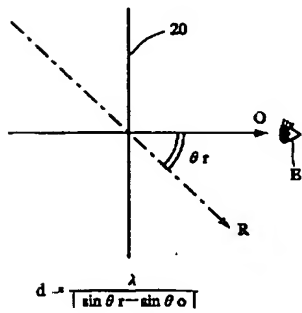
【図12】



【図15】



【図13】



【図14】

